

Aus dem Institut für Neuropathologie der Universität und dem
Rheinischen Hirnforschungsinstitut Bonn (Direktor: Professor Dr. G. PETERS)

Aktivitätsschwankungen der sauren Phosphatase im Rückenmark und den Spinalganglien der Ratte nach Durchschneidung des Nervus ischiadicus*

Von
HANS-JOACHIM COLMANT

Mit 8 Textabbildungen in 17 Einzeldarstellungen

(Eingegangen am 20. Januar 1959)

Die Stoffwechselveränderungen, die bei der retrograden Ganglienzellveränderung nach Durchschneidung des Nervenfortsatzes auftreten, sind verschiedentlich Objekt histochemischer, physikalisch-chemischer und statistischer Untersuchungen gewesen. Es genügt, auf die Ergebnisse hinzuweisen, die hinsichtlich Nucleoproteinstoffwechsel (CASPERSON, HYDEN u. Mitarb.), Zell- und Kernvolumenschwankungen (CAVANAUGH u. v. a.), Mitochondrien (HARTMANN), Golgi-Apparat (CAJAL u. a.), Lipidgehalt (OERTMANN) und Aschenbild veröffentlicht wurden. Eine neue zusammenfassende Darstellung stammt von SCHOLZ sowie JACOB. Noch gering dagegen ist die Anzahl enzymhistochemischer Arbeiten. Die folgenden Darlegungen bringen Teilergebnisse einer Untersuchungsreihe über das Verhalten mehrerer Enzyme in den Vorder- und Hinterhorn-Ganglienzellen des Rückenmarks sowie im Spinalganglion der Ratte.

Material und Methode

Bei insgesamt 28 ausgewachsenen Ratten mit einem Durchschnittsgewicht von 200—250 g wurde nach intraperitonealer Narkose der rechte N. ischiadicus kurz vor seinem Austritt aus dem Foramen ischiadicum scharf durchtrennt und ein etwa 1 cm langes Stück des Nervenreseziert. Im Abstand von 1 Tag bis zu 9 Monaten nach dem Eingriff wurden die Tiere in tiefer Narkose von der linken Herzklammer aus mit 0,85%iger Kochsalzlösung und 20%igem Formalin durchströmt. Das entnommene Rückenmark wurde anschließend für 16 Std in eiskaltem Formalin nachfixiert und sodann das Lumbosacralmark mit dem Gefriermikrotom in 20 μ -Serienschnitten verarbeitet. In einer zweiten Versuchsserie wurden bei insgesamt 30 Ratten nach dem gleichen Eingriff die Spinalganglien entnommen (Durchströmung mit Kochsalz) und nativ mit Hilfe eines Cryostaten (Modell DITTES-DUSPIVA) in Serien geschnitten (10 μ dicke Schnitte). Nach vorsichtigem Auftauen wurden die Gewebschnitte $1/2$ Std in eiskaltem Formalin fixiert und kurz gewässert. Von den verschiedenen durchgeföhrten Enzymreaktionen soll hier nur das Verhalten der sauren Phosphatase geschildert werden. Benutzt wurde die Methode nach GOMORI (siehe

* Mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft.

PEARSE 1953) und in vereinzelten Kontrollen eine Azokupplungsreaktion, die als Substrat α -Naphthylphosphat, als Kupplungspartner Echtblau RR verwendet. Die üblichen Spezifitätsproben wurden durchgeführt. Kontrollpräparate wurden mit Cresylviolett und Gallocyanin-Chromalaun (EINARSON) gefärbt.

Ergebnisse

In der motorischen Vorderhorn-Ganglienzelle der Ratte ist schon normalerweise eine starke Enzymaktivität vorhanden, die an einer diffusen Bräunung oder als körniger Niederschlag im Cytoplasma erkennbar ist.

Der Kern bleibt bei kurzen Inkubationszeiten ungefärbt, der Nucleolus ist nur leicht tingiert, stärker dagegen der Perinucleolarkörper (siehe auch LAVELLE u. Mitarb.). Axon und Dendriten sind nur in ihren zellnahen Abschnitten dargestellt, doch kommt es bei längeren Bebrütungszeiten auch zu einer distinkten Darstellung der Neurofibrillen, die fast an Silberimprägnationen erinnert. Innerhalb des Cytoplasmas ist die saure Phosphatase nicht an bestimmte Strukturen gebunden. Hierfür sprechen auch elektronenoptische Beobachtungen (SHELDON, ZETTERQVIST u. BRANDES). Nur WEINREB glaubt, eine Bindung an die Mitochondrien annehmen zu müssen.

Nach Durchtrennung des peripheren Fortsatzes lässt sich auf der geschädigten Seite bereits 2 Tage nach dem Eingriff eine Zunahme der Enzymaktivität feststellen. Nach 4 Tagen ist der Befund noch ausgeprägter geworden. Die Ganglienzellen sind jetzt als Ganzes tiefbraun tingiert; eine perinucleäre Akzentuation wird jedoch nicht erkennbar. Die Aktivitätssteigerung betrifft auch Anfangsteile des Axon und der Dendriten. In Cresyl- und Gallocyanin-Chromalaun-gefärbten Kontrollschnitten sind zu diesem Zeitpunkt noch keine eindeutigen Veränderungen sichtbar. Auch später bleiben diese diskret. Eine leichte Abblässung und Schwellung der Zelle ist wohl sichtbar, die typische Kernverlagerung bleibt dagegen meist aus. Die Veränderungen im Enzympräparat sind ohne weitere Aktivitätszunahme bis etwa zur 4. Woche nach dem Eingriff sichtbar (Abb. 1 u. 2) und verschwinden dann wieder. Es besteht keine Beziehung zur funktionellen Restitution des Neurons. Mehrere Monate nach dem Eingriff konnten wohl bei der Autopsie vereinzelt ganz dünne Faserbündelchen entdeckt werden, die die etwa 1 cm lange Distanz zwischen proximalem und distalem Nervenstumpf überbrückt hatten. Eine komplett Vereinigung konnte jedoch nie gesehen werden. Auch klinisch blieb die Lähmung bestehen.

Der gleiche Vorgang wurde in einer zweiten Versuchsserie an den Spinalganglien verfolgt. Im Enzympräparat zeigt das Spinalganglion der Ratte ein wesentlich komplexeres Bild als die motorischen Vorderhornkerne.

Bezüglich der normal-histologischen Besonderheiten, wie sie bereits bei Routinefärbungen, im Nissl- und Silber-Präparat, bei Fettfärbungen und auch fluoreszenzmikroskopisch erkennbar sind, kann auf die Zusammenstellung von SCHART verwiesen werden. Es sind mehrere Zelltypen unterscheidbar, von denen zwei, die auch im Enzympräparat unschwer unterschieden werden können, zahlenmäßig im Vordergrund stehen. Es handelt sich einmal um die sogenannten großen, hellen

Zellen, die nur eine geringe Enzymaktivität aufweisen. Das Cytoplasma der letzteren hat im Phosphatasepräparat oft ein fädiges Aussehen (Abb. 4b); die Präparate erinnern an Silberimprägnationen, zumal häufig auch der pseudouni-

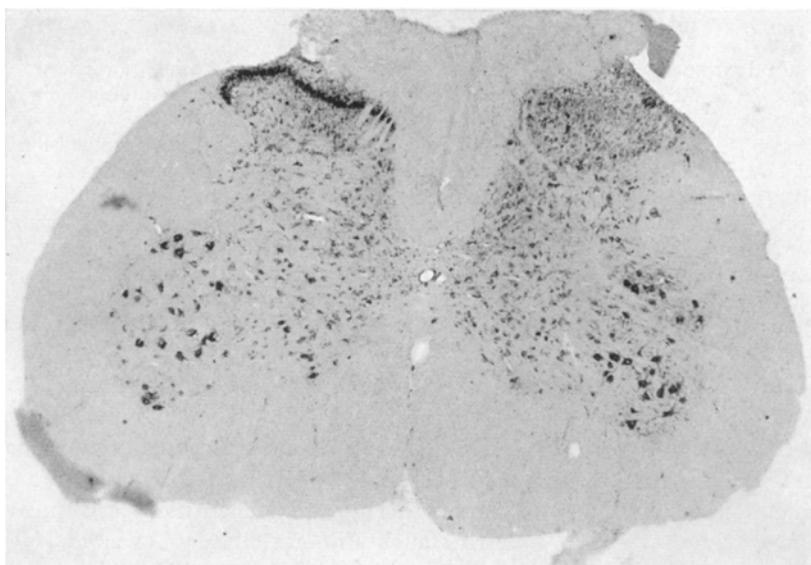


Abb. 1. Rattenrückenmark, saure Phosphatase 20 Tage nach Durchschneidung des rechten Nervus ischiadicus. Rechts deutliche Zunahme der Enzymaktivität in den großen motorischen Vorderhornzellen. Durch bessere Darstellung der Nervenfortsätze erscheint auch das Grundgewebe in den Vorderhorrornkernen dunkler als links. Im Bereich der rechten Substantia gelatinosa dors. keine Enzymaktivität nachweisbar

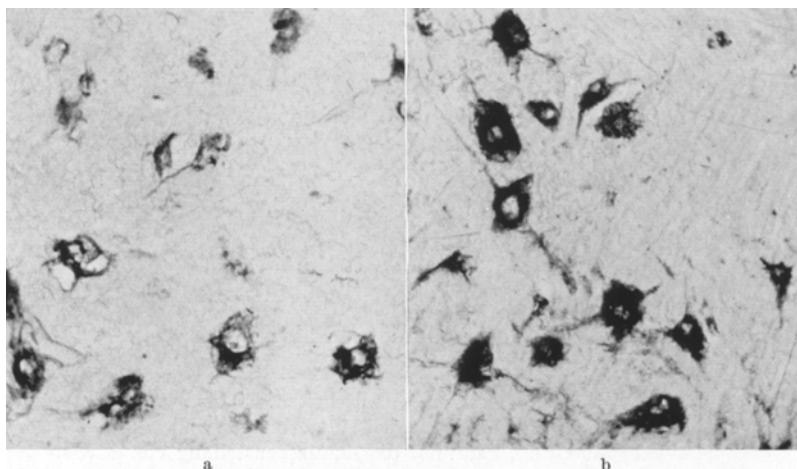


Abb. 2. a Saure Phosphatase. Vorderhornganglienzellen der nicht betroffenen Seite; b Betroffene Seite. Gesteigerte Phosphataseaktivität in den großen motorischen Vorderhornganglienzellen 20 Tage post op. Stärkere Darstellung der Nervenzellfortsätze

polare, gewundene Fortsatz sichtbar wird. Verstreut oder in Gruppen kommen daneben kleine Elemente zur Darstellung, die durch ihre starke Phosphataseaktivität schon bei mittleren Inkubationszeiten (40–50 min) im ganzen nahezu schwarz erscheinen (Abb. 4). Der Kern ist als helles Bläschen oft noch sichtbar.

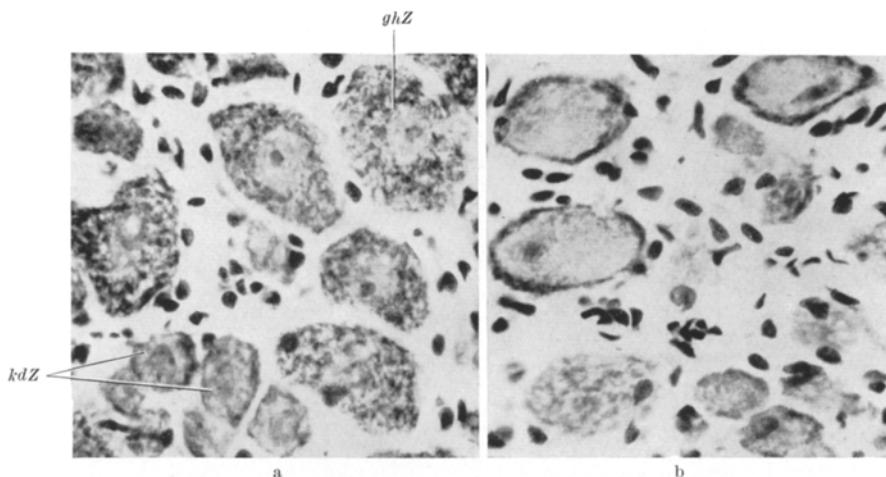


Abb. 3. a Spinalganglion der Ratte. Färbung mit Gallocyanin-Chromalaun bei pH 1,8, Normalpräparat. „Große, helle“ Zellen bei *ghZ*, „kleine, dunkle“ Elemente bei *kdZ*; b Wie a, betroffene Seite 30 Tage post op. Im Zentrum des Bildes 3 große Ganglienzellen mit erheblicher zentraler Chromatolyse und dunkler Anfärbung der Zellperipherie. Periphere Verlagerung des Zellkernes

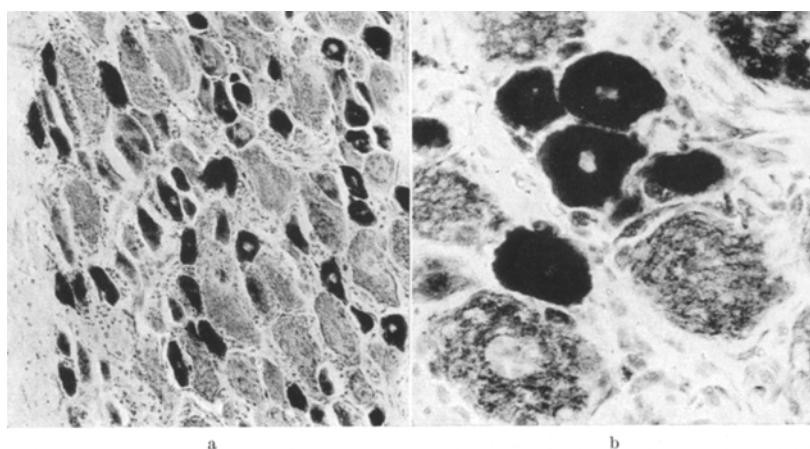


Abb. 4. a Spinalganglion, saure Phosphatase, Normalpräparat. Beachte die unterschiedliche Enzymaktivität in den „großen, hellen“ und „kleinen, dunklen“ Ganglienzellen; b Wie a. Das Cytoplasma der großen Ganglienzellen erscheint von fädiger Struktur. Zellkern und Hüll- bzw. Mantelzellen nur schattenhaft dargestellt

Bei kürzeren Bebrütungszeiten bemerkt man allerdings in Kernnähe kreisförmig angeordnete, dunkle Brocken in einem heller gebliebenen Cytoplasma. Bei diesen beiden Zelltypen ist eine Zuordnung zu den aus der normal-histologischen Technik

bekannten Zellformen leicht möglich. „Zwischenformen“, wie sie auch im Enzympräparat auftreten, etwa den in ihrer Größe zwischen den „hellen“ und „dunklen“ Nervenzellen liegenden, dunkelbraun tingierten Ganglienzellen oder ebenfalls mittelgroßen, jedoch blaßbraunen, wie ausgelaugt ausscheinenden Elementen lassen sich nicht näher identifizieren. Sie spielen zahlenmäßig keine so große Rolle und bleiben in dieser Darstellung unberücksichtigt.

Die Hüllzellen sowie die Schwannschen Zellen der Nervenfasern sind bei kurzen Inkubationszeiten nicht dargestellt; bei längeren allerdings nehmen auch sie einen

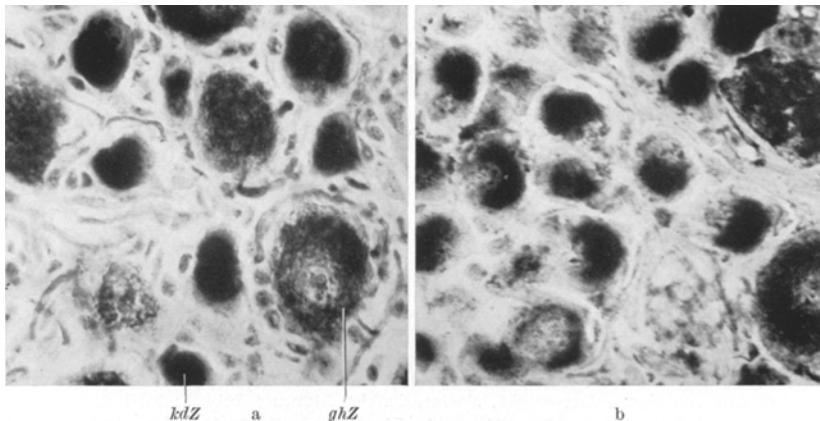


Abb. 5. a Spinalganglion, 4 Tage post op. Starke Aktivitätszunahme in den großen Ganglienzellen (*ghZ*), besonders perinuklear. Beginnende Randablassung bei den kleinen Zellen (*kdZ*); b Spinalganglion, 11 Tage post op. Zahlreiche kleine Ganglienzellen mit bereits recht erheblichem Aktivitätsschwund (vgl. Abb. 4b)

braunen Farbton an. Mit überwiegender Wahrscheinlichkeit handelt es sich dabei aber um Diffusionsartefakte bzw. unspezifische Effekte, die auch für die leichte Tingierung der Nervenzellkerne angenommen werden müssen (PEARSE u.a.). Die Dauer der Inkubation wurde so gewählt, daß die experimentell hervorgerufenen Differenzen zwischen den normalen und geschädigten Spinalganglienzellen deutlich hervortraten. Unspezifische Effekte waren so jedoch nicht ganz vermeidbar.

In den Spinalganglienzellen finden sich die ersten eindeutigen Veränderungen 4 Tage nach Durchschneidung des Nerven (Abb. 5a). In den großen hellen Zellen tritt nunmehr eine meist deutlich perinukleäre und besonders häufig halbmondförmige Schwärzung (Aktivitäts erhöhung) in Erscheinung. Bei starker Vergrößerung erweist sich der dunkel gefärbte Bezirk von körniger Struktur, während der normalerweise fädige Charakter der Bleisulfidniederschläge zunehmend verloren geht. Auffallend ist auch der helle Saum an der Peripherie der großen Zellen, der so schwach tingiert ist, daß die Zelle im Übersichtspräparat kleiner erscheint als normal. Bei Einarson-Färbungen ist schon jetzt eine Chromatolyse erkennbar, die zentral gelegen ist, den peripheren Saum aber besonders dunkel hervortreten läßt (s. auch Abb. 3). Nach 6 und 8 Tagen sind die Veränderungen im Enzympräparat noch ausgesprochener (Abb. 5b). Viele große Zellen weisen jetzt um den Kern herum,

nicht selten auch im ganzen, dunkelbraune Niederschläge auf. Eine weitere Intensivierung ist in der Folgezeit nicht zu erkennen. Etwa um die 4. Woche ist dagegen bei einem Teil der großen Zellen ein deutlicher Rückgang der Veränderungen festzustellen. Es treten wieder die normalen fädigen Strukturen auf (Abb. 6), die perinuclearen Halbmonde blassen ab. Andere Zellen erscheinen jedoch jetzt kleiner als normal. Nicht selten aber läßt sich auch noch nach mehreren Monaten (bis zu 8 Monaten untersucht) eine gesteigerte Enzymaktivität erkennen. Häufig ist dann jedoch keine perinucleäre Anhäufung des Präcipitats vorhanden, vielmehr ist die Ganglienzelle diffus dunkler „gefärbt“, als im Vergleichspräparat der unbetroffenen Seite. Einzelne Elemente sind andererseits abnorm abgebläbt und nur noch schattenhaft erkennbar.

Die sogenannten kleinen, dunklen Zellen zeigen dagegen ein ganz andersartiges Verhalten. Die normalerweise schwarz tingierten Elemente lassen vom 2. Tage post op. an der Peripherie einen hellen Saum erkennen, dessen Breite innerhalb der 1. Woche zunimmt (Abb. 5). Auch der zentrale Teil der Zelle erscheint gegenüber dem Normalpräparat aufgehellt. Im Übersichtsbild fällt diese Veränderung als erstes ins Auge; die Präparate machen durch Verwischung des normalen Hell-Dunkel-Gegensatzes einen viel kontrastärmeren Eindruck als Normalpräparate (Abb. 7 b). Mehrere Wochen später allerdings scheinen manche dieser Elemente ganz ausgefallen zu sein; andere entdeckt man nur mit starker Vergrößerung. Dieses Bild bleibt fast unverändert mehrere Monate lang verfolgbar (Abb. 7 b u. d). Immer aber treten einzelne kleine Elemente mit ihrem normal starken Aktivitätsreichtum erneut deutlich hervor.

Während es sich bei den bisher geschilderten Veränderungen um solche handelt, die den bekannten retrograden Ganglienzellveränderungen zuzuordnen sind, trifft man im Rückenmark noch auf einen weiteren, anders zu deutenden Befund.

Die Substantia gelatinosa dorsalis der Ratte, normalerweise im Enzympräparat als tiefschwarzer Streifen dargestellt, blaßt bereits 2 Tage nach Neurotomie ab (Abb. 8) und zeigt 4 Tage post op. nur noch Reste einer Enzymaktivität. Dieser Befund hat sich unverändert über 9 Monate verfolgen lassen (Abb. 1). Eine Restitution tritt nicht mehr auf. Im Cresyl- und Einarson-Präparat sind jedoch keinerlei Ganglienzellveränderungen erkennbar.

Diskussion

Von dem Ansteigen der saure-Phosphatase-Aktivität in primär gereizten Nervenzellen haben erstmals BODIAN u. MELLORS beim Rhesusaffen berichtet. Der Beginn der Veränderungen war allerdings erst am 8. Tage deutlich. Die zeitliche Differenz gegenüber den eigenen Befunden könnte durch unterschiedliches Verhalten der Vorderhornganglienzellen

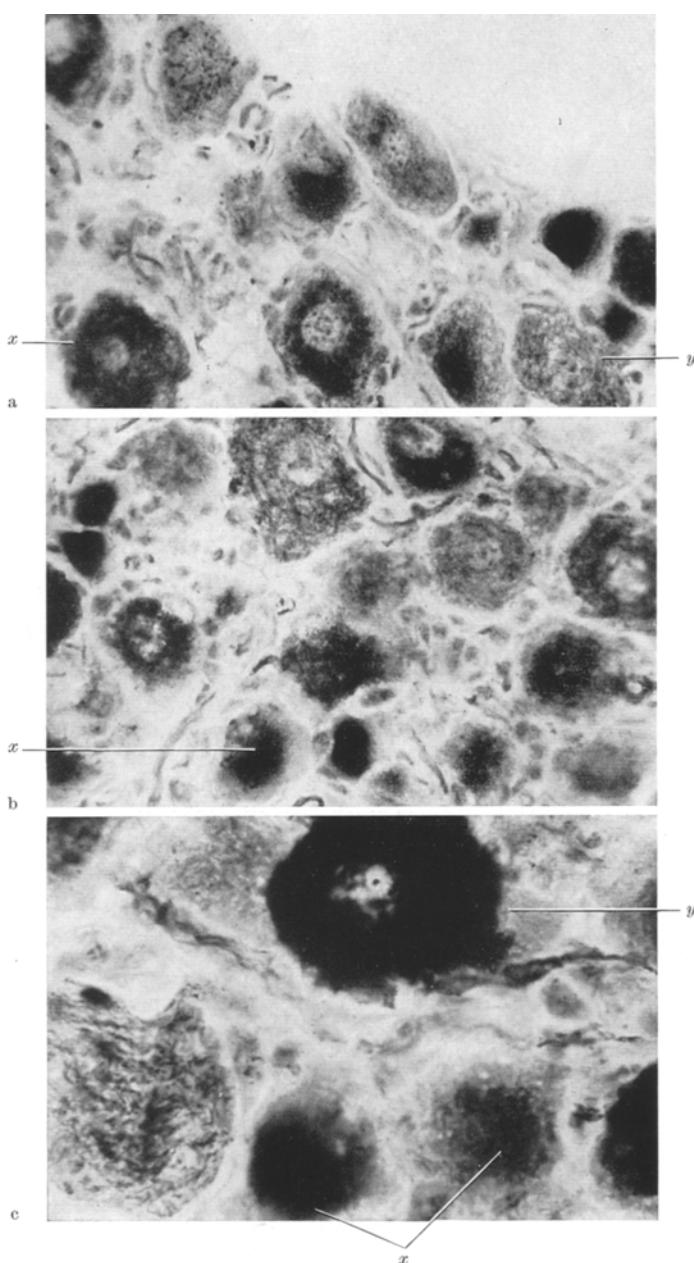


Abb. 6. a Spinalganglion, saure Phosphatase, 21 Tage post op. Neben großen, hellen Zellen mit noch deutlich gesteigerter Enzymaktivität (x) tauchen bereits wieder einzelne, normal aussehende Zellen (y) auf; b Spinalganglion, 23 Tage post op. Besonders deutliche Randabblässung einer kleinen, dunklen Ganglienzelle (x); c Spinalganglion, 30 Tage post op. Ölimmersion. Neben noch deutlich veränderten, kleinen, dunklen Ganglienzellen (x) auch einzelne intakte Elemente (y)

bei den einzelnen Tierspezies bedingt sein, haben sich doch auch bezüglich der Verteilung einer Reihe histochemisch nachweisbarer Enzyme z.T. große Differenzen ergeben. Allerdings darf der hier verwandten Gefrierschnitt-Technik eine größere Empfindlichkeit zugesprochen werden, da die durch BODIAN u. MELLORS benutzte Paraffineinbettung einen

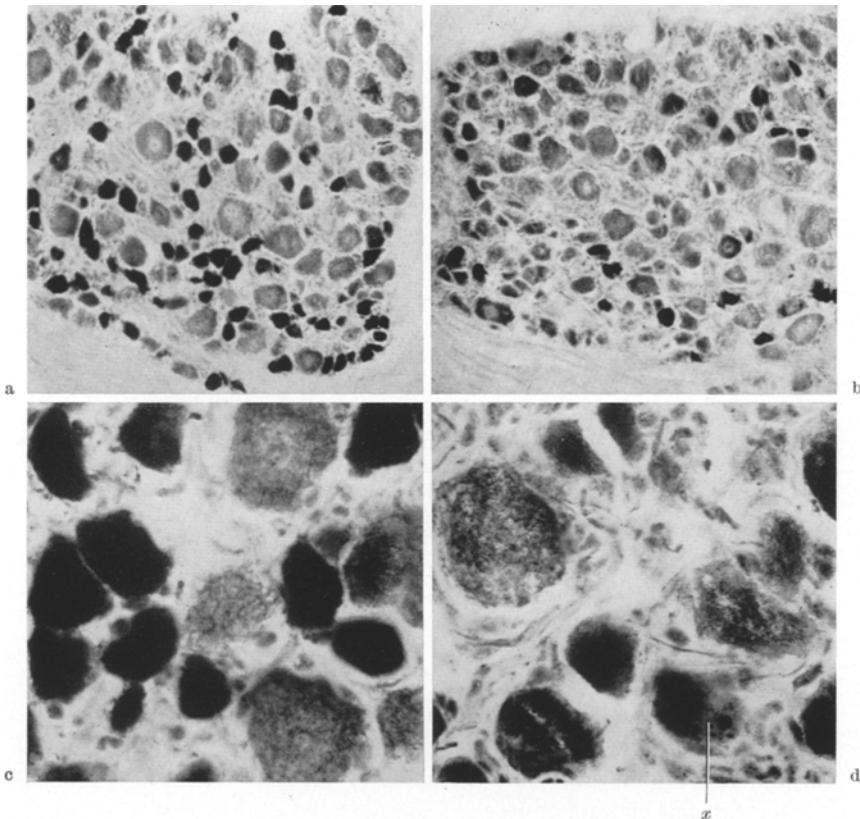


Abb. 7 a—d. Spinalganglion, saure Phosphatase, $4\frac{1}{2}$ Monate post op. a Unbeteiligte Seite; b Betroffene Seite. Einzelne intakte, ganz schwarz tingierte „kleine, dunkle“ Ganglienzellen sind bereits wieder sichtbar. Im übrigen auffallend kontrastarmes Bild infolge Ausfalls bzw. schlechter Darstellung der genannten Ganglienzellen; c Wie a (Normalpräparat) bei starker Vergrößerung; d Wie b (betroffene Seite) bei starker Vergrößerung. Auch jetzt noch deutlich veränderte „kleine, dunkle“ Elemente mit abgeblättem peripherem Saum (x)

hohen Prozentsatz der Enzymaktivität zerstört. Erwähnung findet der Anstieg der sauren Phosphatase bei der retrograden Reaktion auch bei SMITH, jedoch ohne nähere Angaben über Tierspezies und Umfang der Untersuchungen. SMITH u. LUTTRELL sahen Vermehrung der Enzymaktivität im Ganglion stellatum und im Vaguskern; auch hier fehlen nähere Angaben, insbesondere auch über die zeitlichen Verhältnisse.

Schließlich wies SCEVOLA auf das unterschiedliche Verhalten der Ganglienzelle nach elektrischer Blockierung, Erschöpfung und Durchschneidung des Fortsatzes hin.

Wir vermochten das Ansteigen der Enzymaktivität gleichzeitig oder noch vor Auftreten der im Cresylpräparat erkennbaren Chromatolyse nachzuweisen. Letztere war überdies im Rückenmark nur selten mit den typischen Zeichen der retrograden Zellveränderung (Ballonierung und Schwellung der Zelle, Kernverlagerung usw.) verbunden. Es kann hier

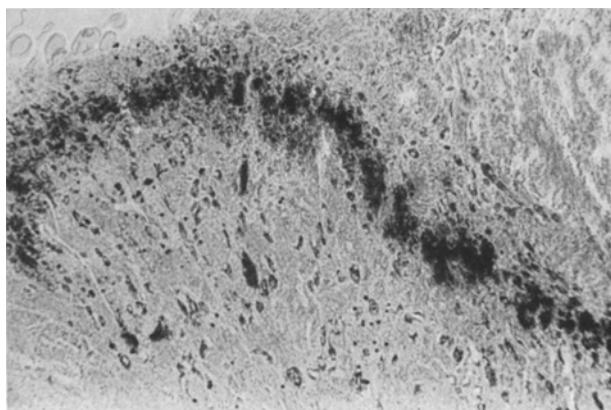


Abb. 8. Rattenrückenmark; saure Phosphatase. Rechtes Hinterhorn; Substantia gelatinosa dorsalis, 2 Tage nach Durchschneidung des N.ischiadicus. Beginnender Aktivitätschwund, zunächst in den lateralen Abschnitten (links im Bild)

auf ähnliche Befunde BALTHASARS verwiesen werden. Der Autor fand bei der Katze ebenfalls nur in einem Teil der Ganglienzellen des Tibialiskerns das klassische Bild der retrograden Reaktion, während andere Ganglienzellen nur einfache, staubförmige Chromatolyse und geringe Zellschwellung aufwiesen. Derartige Besonderheiten sind als kernspezifisch zu berücksichtigen. Für die Erkennung retrograder Veränderungen im Vorderhorn hat sich uns unter den gewählten Versuchsbedingungen die Enzymaktivität als ein empfindlicheres Reagens erwiesen als die Cresyl- bzw. Galloxyanin-Chromalaun-Färbung.

Während im Rückenmark die Aktivitätssteigerung fast alle Ganglienzellen der geschädigten motorischen Vorderhornkerne betrifft, liegen die Verhältnisse im Spinalganglion komplizierter. Nur die großen, hellen Ganglienzellen zeigen eine Steigerung der Enzymaktivität, während sie bei den kleinen, dunklen Zellen nicht eintritt. Nach CAVANAUGH reagiert dieser letztere Ganglienzelltyp auf Durchschneidung des peripheren Fortsatzes besonders frühzeitig und empfindlich. Schon bald geht — wie Zählungen ergeben haben — ein großer Teil der Zellen zugrunde. In der Tat bestätigt auch das Verhalten der sauren Phosphatase, daß

diese Nervenzellen sich nicht mehr erholen, vielmehr schon zu Beginn Zeichen eines reduzierten Stoffwechsels erkennen lassen. Nur ein geringer Prozentsatz weist 4 Wochen nach Neurotomie wieder eine normale Aktivität auf. VOSTEEN hat kürzlich an den äußeren Haarzellen und Nervenendigungen im Cortischen Organ nach Dauerbeschallung einen vergleichbaren Befund erhoben. Auch ohne eine histologisch faßbare Veränderung der Zellstrukturen kam es zu einer bleibenden Aktivitätsminderung der Succinodehydrogenase.

Während wir es hierbei mit großer Wahrscheinlichkeit mit regressiven Veränderungen zu tun haben, ist die Steigerung der Aktivität der sauren Phosphatase bei der retrograden Ganglienzellveränderung deshalb schwer zu erklären, weil die Bedeutung dieses Enzyms für den Stoffwechsel der Ganglienzelle nicht sicher bekannt ist. Nach den Untersuchungen LAVELLES u. a. spricht jedoch vieles dafür, daß die saure Phosphatase im Nucleoproteidstoffwechsel eine wichtige Rolle spielt. Da Ribonucleinsäure bei der Restitution der Ganglienzelle, die mit einer erheblichen Mehrproduktion von Proteinen einhergeht (WEISS u. HISCOE), verbraucht wird, erscheint die Annahme berechtigt, daß hierbei wichtige Energiereserven erschlossen werden (BEJDL) und somit dem Restitutionsvorgang zur Verfügung stehen.

Bei dem geschilderten Aktivitätsschwund in der Substantia gelatinosa dorsalis stehen wir vor einem ganz anders gearteten Phänomen. Die in der Substantia gelatinosa Rolandi liegenden kleinen Ganglienzellen empfangen ihre Afferenzen von den oben beschriebenen kleinen, dunklen Nervenzellen des Spinalganglions (RANSON [Katze], SVEN INGVAR [Mensch], u. a.) und sind in die zentrale Leitung des Schmerzsinnes eingefügt. Gleichartige Bahnverbindungen dürfen auch bei der Ratte vorausgesetzt werden. Nach peripherer Neurotomie können also die Ganglienzellen der Substantia gelatinosa dorsalis nicht selbst von retrograden Veränderungen betroffen sein. Es muß sich bei dem beschriebenen Enzymschwund vielmehr um eine Art antograd-transneuraler Reaktion handeln, die offenbar durch die funktionelle Isolierung der Ganglienzelle hervorgerufen wird. Aus dem Nissl-Präparat sind transneurale Veränderungen im Rückenmark nach Durchschneidung peripherer Nerven an sich wohl bekannt. Sie wurden sowohl an den großen Hinterhornzellen, der Clarkeschen Säule, als auch an den motorischen Vorderhornzellen beobachtet, nicht dagegen bisher an den Nervenzellen der Substantia gelatinosa dorsalis. Merkwürdig erscheint bei unseren Befunden vor allem der frühe Zeitpunkt der Veränderungen. Die von JACOB getroffene Feststellung, daß sich retrograde und transneurale Veränderungen zeitlich durchaus überschneiden können (wenn letztere auch in vielen anderen Beispielen erst mehrere Wochen oder Monate später auftreten), erfährt so eine bemerkenswerte Ergänzung. An den

großen Hinterhornzellen vermochten wir unter den beschriebenen Bedingungen keinen Aktivitätsschwund festzustellen. Wahrscheinlich läßt der relativ geringe Enzymgehalt der Zellen keine Beurteilung zu.

Über das Verhalten einiger weiterer Enzyme (Succinodehydrogenase, unspezifische Esterasen, Acetylcholin- und Cholinesterase) soll später berichtet werden. Eine Deutung unserer bisherigen Ergebnisse wurde oben versucht. Weitergehende Aussagen werden erst möglich sein, wenn eine umfassende histo- bzw. biochemische Analyse des in Rede stehenden Zellphänomens die Bedeutung auch der hier beschriebenen Zellveränderungen ins richtige Licht rückt.

Zusammenfassung

Nach Durchschneidung des N. ischiadicus läßt sich bei der Ratte ein deutlicher Anstieg der saure-Phosphatase-Aktivität in den motorischen Vorderhornnervenzellen des Rückenmarks beobachten, der 2 Tage post op. beginnt und sich nach 4 Wochen wieder zurückbildet. Die Veränderungen im Nissl-Präparat bleiben dabei recht gering. Im betroffenen Spinalganglion reagieren die sogenannten großen hellen Zellen im Gallo-cyanin-Chromalaun-Präparat mit den klassischen retrograden Veränderungen und einem schon nach 4 Tagen deutlichen Anstieg der Enzymaktivität. Nur in einem Teil dieser Ganglienzellen normalisiert sich die Enzymaktivität innerhalb etwa eines Monats. Die sogenannten kleinen dunklen Zellen dagegen weisen bereits 2 Tage post op. eine Verminderung der Enzymaktivität auf. Soweit diese Ganglienzellen nicht ganz untergehen, zeigen die meisten von ihnen eine bleibende Aktivitätsminderung. In der Substantia gelatinosa Rolandi des Rückenmarks kommt es nach 4 Tagen zu einem völligen Schwund der histochemisch nachweisbaren Enzymaktivität. Hierbei muß es sich um eine Zellalteration i. S. der transneuronalen Reaktion handeln.

Literatur

- BALTHASAR, K.: Morphologie der spinalen Tibialis- und Peronaeuskerne bei der Katze. Arch. Psychiat. Nervenkr. **188**, 345–378 (1952). — BEJDL, W.: Zum Energiestoffwechsel der Nervenzellen. Wien. Z. Nervenheilk. **10**, 168–174 (1955). — BODIAN, D., and R. C. MELLOES: Phosphatase activity in chromatolytic nerve cells. Proc. Soc. exp. Biol. (N.Y.) **55**, 243–245 (1945). — The regenerative cycle of motoneurons with special reference to phosphatase activity. J. exp. Med. **81**, 469–488 (1945). — CAVANAUGH, MARGARET W.: Quantitative effects of the peripheral innervation area on nerves and spinal ganglion cells. J. comp. Neurol. **94**, 181–219 (1951). — HARTMANN, J. FR.: Changes in mitochondrial content of nerve cell bodies following axone section. Anat. Rec. **97**, 390f. (1947). — HYDEN, H.: Chemische Komponenten der Nervenzelle und ihre Veränderungen. Moosbacher Coll., 1952. — JACOB, H.: Zur Histopathologie der retrograden und transneuronalen Degeneration. Dtsch. Z. Nervenheilk. **166**, 146 (1951). — Sekundäre retrograde und transsynaptische Degeneration. Hdb. spez. path. Anat. u. Histol. XIII/1 A. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer 1957. — LAVELLE, A., CHAN NAO LIU and F. W. LAVELLE:

Acid phosphatase activity as related to nucleic acid sites in the nerve cell. Anat. Rec. **119**, 305—324 (1954). — ORTMANN, R.: Über die Einförmigkeit morphologischer Reaktionen der Ganglienzellen nach experimentellem Eingriff. Dtsch. Z. Nervenheilk. **167**, 431—441 (1952). — PEARSE, A. G. E.: Histochemistry. Theoretical and applied. London: J. u. A. Churchill Ltd 1954. — PENFIELD, W. G.: Alterations of the GOLGI-Apparatus in nerve cells. Brain **43**, 290—305 (1920). — RAMÓN Y CAJAL: Degeneration and Regeneration of the nervous system. Bd. II, London 1928. — RANSON, S. W.: The tract of Lissauer and the substantia gelatinosa Rolandi. Amer. J. Anat. **16**, 97—126 (1914). — SCEVOLA, P.: Sul significato della tigrolisi delle cellule nervose, Arch. ital. Otol. **62**, 553—558 (1951). — SCHARF, J. H.: Sensible Ganglien. Hdb. mikroskop. Anat. des Menschen. 4. Bd. 3. Teil, Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer 1958. — SCHARF, J. H., u. K. OSTER: Zur fluoreszenzmikroskopischen Unterscheidbarkeit „heller“ und „dunkler“ pseudo-unipolarer Ganglienzellen im Ganglion semilunare des Rindes. Acta histochem. (Jena) **4**, 65—89 (1957). — SCHARF, J. H., u. C. P. ROWE: Zur Verteilung der Kohlenhydrate und einiger Fermente im Ganglion semilunare des Rindes. Acta histochem. (Jena) **5**, 129—145 (1958). — SCHOLZ, W.: Regressive bzw. dystrophische Krankheitsprozesse sogen. Degenerationsprozesse. Hdb. spez. path. Anat. u. Histol. XIII/1 A. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer 1957. — SHELDON, H., H. ZETTERQVIST and D. BRANDES: Histochemical reactions for electron microscopy: Acid phosphatase. Exp. Cell Res. **9**, 592—596 (1955). — SMITH, W. K.: The results of application of the acid phosphatase method to nervous tissue-after formalin fixation. Anat. Rec. **102**, 523—532 (1948). — SMITH, W. K., and CH. LUTTRELL: The acid phosphatase content of normal autonomic neurons and its increase following section of the cell processus. Anat. Rec. **97**, 426 (1947). — VOSTEEN, K.-H.: Die Erschöpfung der Phonorezeptoren nach funktioneller Belastung. Experimentelle histochemische Untersuchungen zur Frage der Schalltransformation am Innenohr. Arch. Ohr-, Nas., u. Kehlk.-Heilk. **172**, 489—512 (1958). — WEISS, P., and H. B. HISCOE: Experiments on the mechanism of nerve growth. J. exp. Zool. **107**, 315—395 (1948).

Dr. HANS-JOACHIM COLMANT, Hamburg 20, Curschmannstraße 10